

DICCA
Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale

"Studio morfodinamico del torrente Vobbia in prossimità di Vobbietta"

Rapporto finale
(Marzo 2020)

Committente: **Studio Tecnico Associato - Ing. Sergio Brizzolara & Ing. Stefano Sturla**

Responsabile scientifico:

Prof. Ing. Michele Bolla Pittaluga

Indice

1 Premessa **3**

2 Il tratto oggetto di studio **4**
2.1 Rilievi topografici 4
2.2 Analisi dei dati plano-altimetrici 5
2.3 Valutazioni idrologiche e sedimentologiche 8

3 Il modello numerico utilizzato **11**

4 Analisi dell'evoluzione morfodinamica **14**
4.1 Evoluzione fondo 2004-2011 14
4.2 Evoluzione fondo 2011-2018 17
4.3 Evoluzione morfodinamica di lungo termine 19

5 Conclusioni **23**

1 Premessa

Il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell'Università di Genova (nel seguito indicato come DICCA) ha stipulato in data 7/2/2020 una convenzione con lo studio tecnico associato ing. Sergio Brizzolara & ing. Stefano Sturla (nel seguito Committente) relativa ad un'analisi morfodinamica del tratto del torrente Vobbia in prossimità dell'abitato di Vobbietta.

Il Committente ha ottenuto un incarico dal comune di Isola del Cantone per interventi di mitigazione del rischio idraulico lungo il corso del torrente Vobbia in località Vobbietta. Il Dipartimento ha svolto per conto del Comune di Isola del Cantone uno studio idraulico e morfodinamico del torrente Vobbia finalizzato alla ricostruzione dell'evoluzione temporale dell'assetto del fondo del tratto posto a monte della diga di Vobbietta, con particolare riferimento alla quantificazione del sovralluvionamento e al relativo incremento del rischio di inondazione (relazione finale luglio 2019).

L'esecuzione dello studio ha come oggetto l'analisi dell'evoluzione morfodinamica del torrente Vobbia nel recente passato, oltre ad alcune valutazioni sulla dinamica del fondo alveo, sollecitato con una successione di eventi di piena, volte a determinarne la tendenza evolutiva. In particolare si determina il profilo di equilibrio del fondo in prossimità di Vobbietta per una serie di possibili scenari di abbassamento della quota della sommità della diga.

La presente relazione costituisce il rapporto finale previsto nell'ambito della convenzione. Esso si propone di descrivere i risultati delle analisi svolte e delle simulazioni morfodinamiche effettuate.

2 Il tratto oggetto di studio

2.1 Rilievi topografici

Il tratto oggetto di studio, che si estende per circa 1.6 km a monte della diga di Vobbietta, è stato analizzato attraverso i rilievi topografici disponibili. Questi includono le geometrie utilizzate nelle verifiche idrauliche contenute nel Piano Territoriale di Coordinamento provinciale Variante Bacini Padani (VBP) ma anche tutti quei rilievi topografici associati a interventi di sistemazione, già realizzati o in progetto, che permettano di risalire all'assetto altimetrico del corso d'acqua negli ultimi decenni.

In particolare, sono state utilizzate le seguenti informazioni topografiche:

- Geometria HEC-RAS - Variante Bacini Padani (2005 - Regione Liguria)
- Rilievo Progetto Gestione Sedimenti (2011 - Regione Liguria)
- Geometria HEC-RAS - Variante Bacini Padani (2012 - Regione Liguria)
- Rilievo Studio B3S (2018 - Comune di Isola del Cantone)
- Scala di deflusso stazione idrometrica Vobbietta (2004-2018 - ARPA Piemonte)

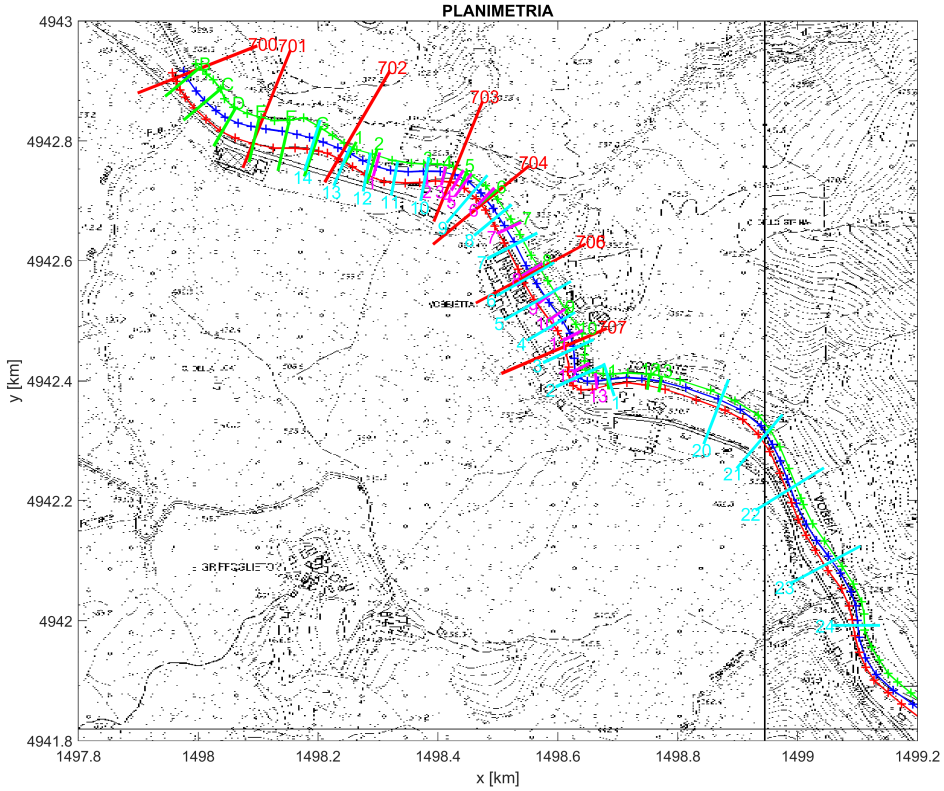


Figura 1: Planimetria del tratto considerato con indicazione delle sezioni relative ai diversi rilievi.

2.2 Analisi dei dati plano-altimetrici

Le sezioni rilevate nelle diverse campagne topografiche sono state sovrapposte planimetricamente in modo da consentire l'individuazione di un'unica coordinata longitudinale di riferimento (vedi figura 1), sulla base della quale sono stati realizzati i diversi profili altimetrici della linea di fondo alveo, ciascuno corrispondente ad un particolare rilievo e quindi in grado di descrivere l'assetto del fondo nel periodo corrispondente. Particolare cura è stata dedicata al posizionamento relativo dei diversi rilievi, anche attraverso la verifica di capisaldi di sezione o, più in generale, di punti fissi che consentissero di collocare accuratamente in senso altimetrico i rilievi effettuati in anni diversi, per un corretto confronto.

I dati topografici dei rilievi dei diversi anni sono stati poi analizzati per estrarre due informazioni sintetiche da ciascuna sezione del rilievo: il thalweg, identificato dalla quota del punto più basso della sezione e la quota media del fondo, identificata come il valor medio delle quote dei punti ap-

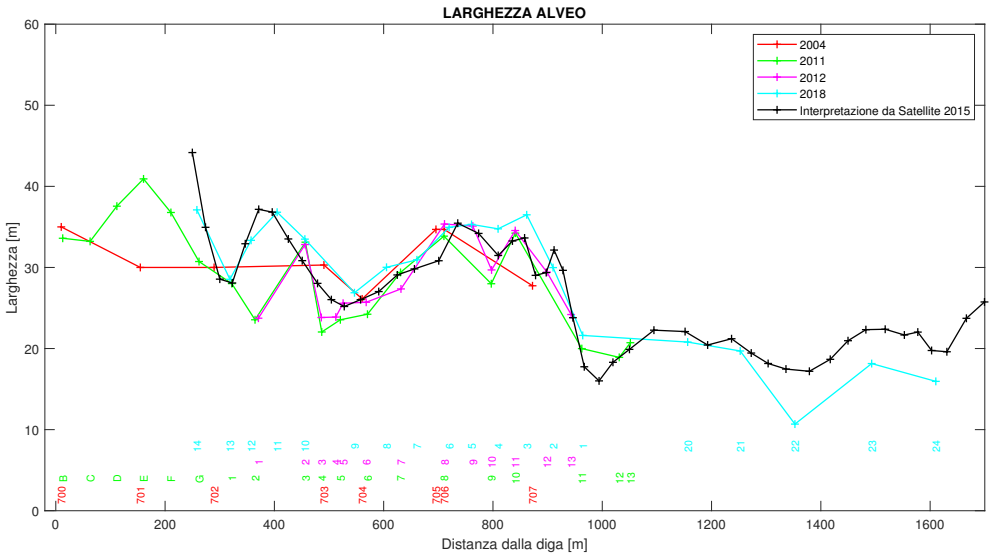


Figura 2: Variazione della larghezza dell'alveo attivo nel tratto considerato.

partenenti all'alveo attivo, cioè quella parte della sezione che, se bagnata, partecipa attivamente al trasporto di sedimenti. Il dato medio fornisce in genere un risultato più stabile rispetto al thalweg, che risente fortemente della morfologia locale, ma richiede di definire a priori l'alveo attivo.

In Figura 2 viene riportata la larghezza dell'alveo attivo così come determinata dall'analisi delle sezioni rilevate. Si può notare come, procedendo da valle verso monte, le sezioni del primo chilometro siano caratterizzate da una larghezza media pari a circa 30-35 metri, mentre nel secondo chilometro tale valore scenda bruscamente a circa 15-20 metri, mantenendosi poi approssimativamente costante.

Nelle Figure 3 e 4 sono riportati, rispettivamente, i profili altimetrici del thalweg e del fondo medio per i diversi rilievi acquisiti. Si può notare come in entrambi i grafici si osservi la presenza di un ingente deposito nel periodo compreso tra il 2004 e il 2011, che va progressivamente crescendo da monte verso valle, fino a raggiungere spessori dell'ordine di diversi metri in prossimità della diga. Il confronto tra i rilievi 2012 e 2018 sembrerebbe indicare un sostanziale equilibrio, con una modesta tendenza al deposito solo nell'ultima sezione a monte del lago. Va sottolineato, però, che nel periodo 2010-2014 l'alveo è stato soggetto a ripetuti interventi di asportazione di sedimenti e a significativi apporti solidi legati agli intensi eventi di piena del 2011 e del 2014 e solo dal 2015 ha ripreso la sua naturale tendenza evolutiva.

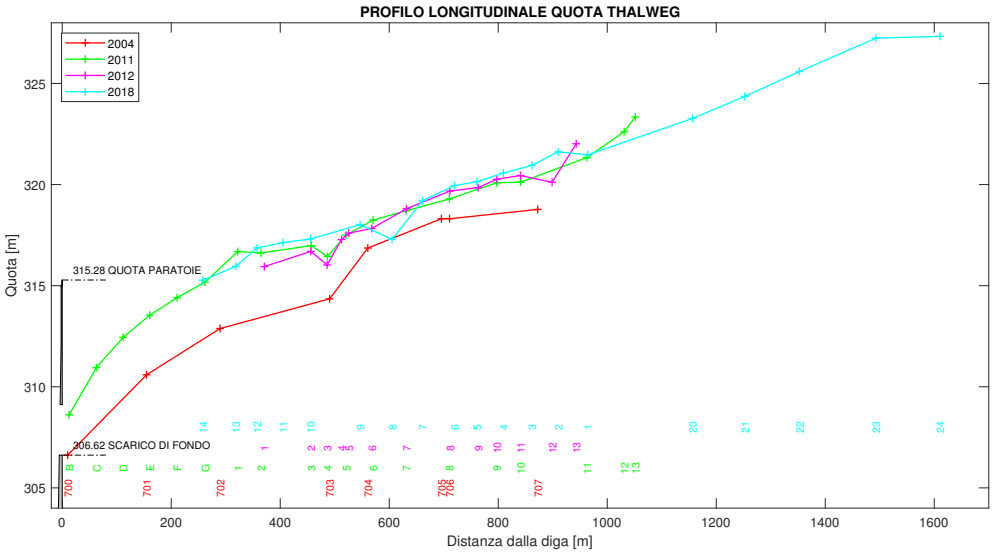


Figura 3: Profilo del thalweg nei diversi rilievi.

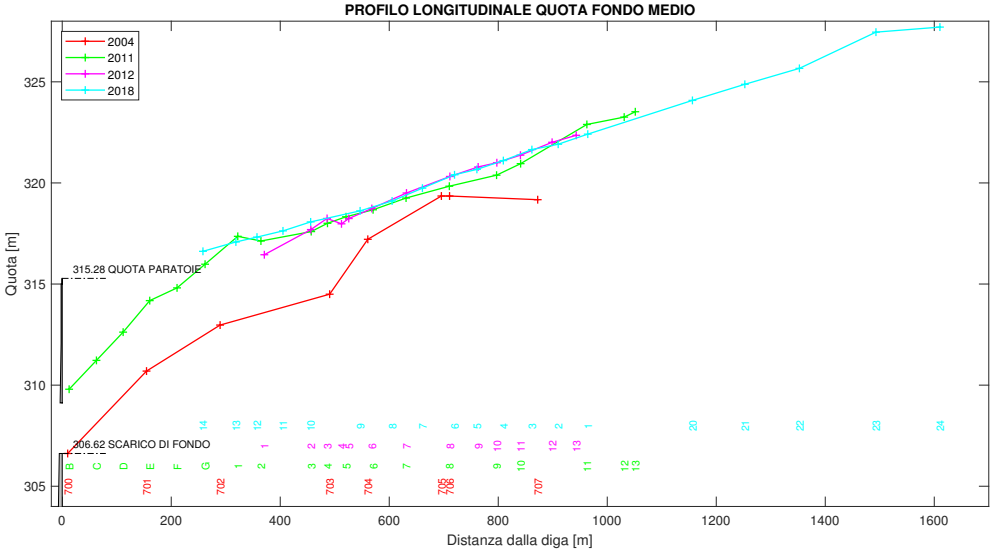


Figura 4: Profilo della quota media del fondo attivo nei diversi rilievi.



Figura 5: La stazione idrometrica ARPA di Vobbietta nel 2005.

2.3 Valutazioni idrologiche e sedimentologiche

Lo studio si propone, nella Fase 3, di sollecitare il modello a fondo mobile del tratto considerato con una portata solida ed una liquida in ingresso e con un livello assegnato a valle in corrispondenza della diga di Vobbietta. Tali condizioni al contorno richiedono la conoscenza del regime idrologico del corso d'acqua.

La presenza nel tratto considerato di una stazione idrometrica di ARPA Piemonte (Figura 5), attiva dal 2004, ha consentito di ricostruire tali informazioni.

A tale fine sono state acquisite le portate giornaliere dal 2004 ad oggi, oltre alle scale di deflusso utilizzate, negli anni, per la conversione livelli-portate. Sono state inoltre acquisite le letture di livello campionate a scala oraria, che sono state poi effettivamente utilizzate per le simulazioni svolte nella seconda parte dello studio.

In Figura 6 sono riportate le letture in termini di livelli orari per il periodo 2004-2018. Pur con alcune lacune dovute a malfunzionamenti dell'idrometro o a interventi di manutenzione, il record temporale appare più che sufficiente sia per modellare l'evoluzione altimetrica del corso d'acqua in questi ultimi 15 anni sia per descriverne l'evoluzione futura, ipotizzando che lo stesso scenario idrologico si ripeta nei prossimi anni. Si notano alcuni eventi particolarmente significativi negli anni 2010 e 2014, mentre manca completamente l'anno 2011

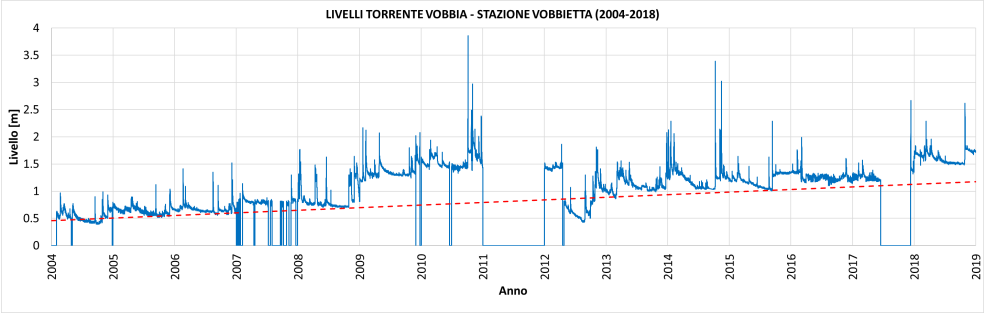


Figura 6: Livelli misurati alla stazione idrometrica ARPA (2004-2018).

e quindi l'evento del 4/11/2011 che ha colpito il bacino del Vobbia, così come la quasi totalità dei bacini liguri.

Va rilevato che la stazione idrometrica ARPA è posizionata su un tratto non plateato soggetto a sovralluvionamento ed è quindi caratterizzata da una marcata variabilità nel tempo della scala di deflusso, che viene continuamente aggiornata su scala annuale e, quando necessario, sub-annuale da ARPA Piemonte. La linea rossa tratteggiata in Figura 6 vuole approssimare il fondo scala delle diverse letture nel periodo 2004-08 e 2013-17 e mostra come il fondo, nella sezione di misura, si sia progressivamente innalzato ad una velocità media di circa 5 cm/anno, dato su cui torneremo nel seguito.

Utilizzando le scale di deflusso fornite da ARPA, i livelli orari di Figura 6 sono stato convertiti in portate, ricostruendo così lo scenario idrologico che ha sollecitato il torrente nel periodo considerato. Una rapida analisi dei dati idrologici mostra che la massima portata registrata (123 m^3/s) appare nel 2014 ed è associabile ad un tempo di ritorno pari a circa 25 anni. La portata con tempo di ritorno due anni, spesso indicata come portata morfologica rappresentativa corrisponde a circa 25 m^3/s, mentre la media dei massimi annuali nel periodo è pari a circa 36 m^3/s. Permane, a detta dei tecnici interpellati, una certa incertezza per quanto riguarda in particolare la misura delle portate al colmo negli eventi di piena, che appare però superabile nel contesto del presente studio, ricordando che gli eventi morfologicamente più significativi sono quelli associati ad eventi di morbida più che di piena.

Per quanto riguarda infine la caratterizzazione dei sedimenti in alveo si è acquisita una analisi granulometrica svolta nel 2013 dal Laboratorio Geotecnico GET s.r.l. che individua un d_{50} (diametro mediano della miscela) pari a circa 17 mm e un d_{90} pari a circa 40 mm.

Va ricordato che, assumendo condizioni di moto uniforme e scegliendo un'opportuna formula di trasporto, all'idrogramma delle portate liquide misurato può essere associato un sedimentogramma, che, per ogni valore della

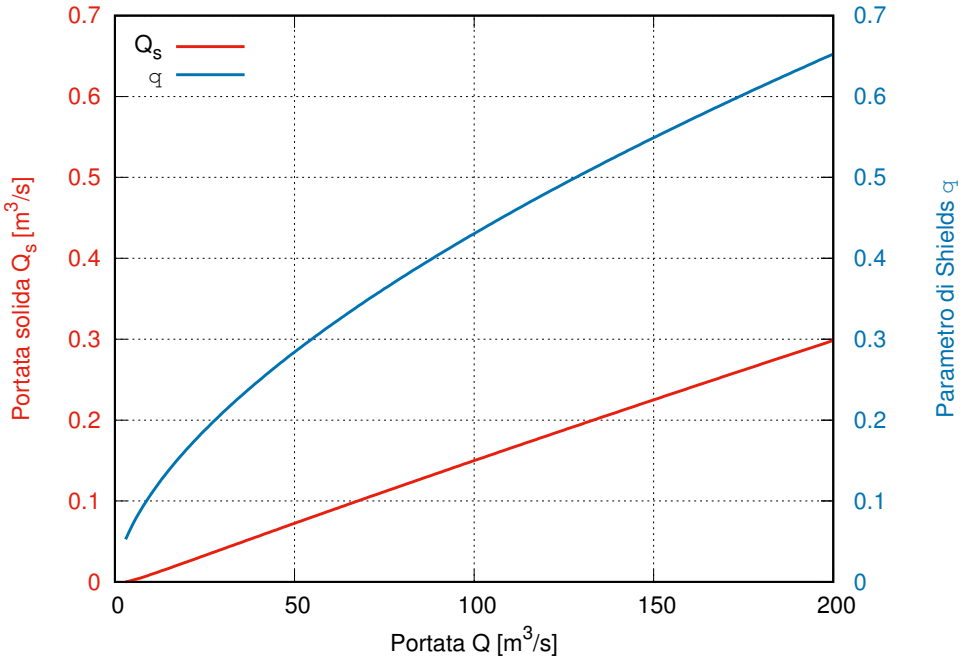


Figura 7: Capacità di trasporto e parametro di Shields in funzione della portata liquida in condizioni di moto uniforme.

portata liquida in ingresso, esprime la capacità di trasporto della corrente e quindi la portata solida in ingresso nel tratto considerato.

Nella Figura 7 è mostrata in blu la curva che esprime, per le diverse portate, la tensione adimensionale di Shields

$$\theta = \frac{RS}{(s-1)d_{50}} \tag{1}$$

dove R è il raggio idraulico (rapporto area/contorno bagnato), S è la pendenza media del tratto, s è la densità relativa dei sedimenti (2.65 per sabbia).

In rosso, nella stessa figura, è riportata la curva che permette di stimare la portata solida, secondo la

$$Q_s = b_f \sqrt{(s-1)g d_{50}^3}\,\Phi(\theta) \qquad \Phi(\theta) = 3.97(\theta - 0.0495)^{3/2} \tag{2}$$

dove b_f è la larghezza dell'alveo attivo a superficie libera e la portata solida adimensionale $\Phi(\theta)$ è stimata attraverso la formula di Wong & Parker (2006). Come si può notare, l'andamento della portata solida è quasi lineare e corrisponde a circa 0.0015 m^3 di sedimenti (senza considerare i vuoti) per m^3 di liquido.

3 Il modello numerico utilizzato

Il problema matematico che si pone è quello di determinare l'andamento nello spazio e nel tempo del profilo della superficie libera e del profilo altimetrico del fondo del tratto del torrente Vobbia in esame, sotto le seguenti condizioni:

1. nella sezione iniziale viene assegnata la portata liquida in funzione del tempo e una portata solida assunta pari alla capacità di trasporto della corrente con i valori istantanei e locali di profondità e portata;

2. il profilo altimetrico iniziale del fondo è quello che si evince dai rilievi disponibili; in alcune simulazioni è stato artificialmente rimosso un assegnato volume di sedimenti, simulando un intervento di sistemazione;

3. nella sezione terminale del tronco esaminato viene imposta una quota corrispondente al livello che si realizzerebbe in corrispondenza delle paratoie della diga per il valore istantaneo di portata defluente.

4. non sono stati simulati gli interventi di svuotamento e di scarico della diga avvenuti nel periodo considerato in quanto sporadici e in grado di movimentare ridotte quantità di sedimenti.

Indicate con x una coordinata spaziale definita lungo l'asse del corso d'acqua e con t la variabile temporale, le funzioni incognite del problema sono (fig. 8):

$h(x,t)$ carico piezometrico (quota della superficie libera) nella sezione x all'istante t;
$\eta(x,t)$ quota media del fondo della sezione;
$Q(x,t)$ portata volumetrica liquida che attraversa la sezione x all'istante t.

La loro determinazione richiede la soluzione del sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali che impongono i principi di conservazione della massa e della quantità di moto per le fasi fluida e solida. Esse si scrivono nella forma:

Conservazione della massa per la fase fluida

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \tag{3}$$

Principio della quantità di moto per la fase fluida

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\beta \frac{Q^2}{\Omega}\right) + g\Omega \frac{\partial h}{\partial x} + g\Omega j = 0 \tag{4}$$

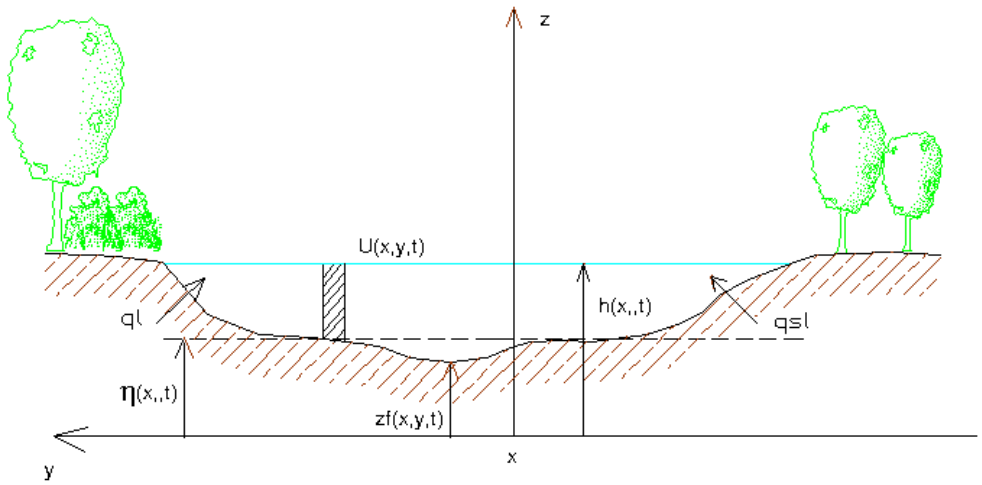


Figura 8: Schema della generica sezione dell'alveo e notazioni.

Conservazione della massa per la fase solida

$$(1-p)b_f\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial Q_s}{\partial x}=0 \tag{5}$$

dove b_f è la larghezza del fondo attivo della sezione, β rappresenta il coefficiente correttivo della quantità di moto, assunto nel seguito unitario, j è la perdita di carico totale per unità di lunghezza, p è la porosità dei sedimenti e Q_s è la portata volumetrica solida integrata sulla sezione.

Il calcolo delle quantità Ω e j si effettua, in sezioni di forma irregolare, attraverso opportuni integrali nella sezione. Si trova:

$$\Omega=\int_b (h-z_f(y))dy \tag{6}$$

$$j=\frac{Q^2}{gC^2\Omega^2R}=\frac{Q^2}{g\left[\int_b c(y)(h-z_f(y))^{3/2}dy\right]^2} \tag{7}$$

avendo indicato con b la larghezza della superficie libera, con $z_f(y)$ la quota del punto generico del fondo della sezione e con $c(y)$ la conduttanza locale, espresse in funzione della coordinata trasversale y. I valori di z_f si otterranno dai rilievi delle sezioni, mentre per la quantificazione della conduttanza locale $c(y)$ sarà adottata la formula di Strickler:

$$c=\frac{k_s}{\sqrt{g}}(h-z_f)^{1/6} \tag{8}$$

con k_s coefficiente dimensionale di Strickler assunto pari a 33 $m^{\frac{1}{3}}/s$.

Per la valutazione della portata solida Q_s si farà ricorso a relazioni empiriche disponibili in letteratura che ne forniscono il valore riferito all'unità di larghezza q_s in funzione dei valori assunti localmente dalle grandezze idrodinamiche e assumendo i sedimenti uniformi e di diametro d pari al d_{50} rilevato attraverso le misure sedimentologiche. In particolare, si farà riferimento alle relazioni (1) e (2), dove il valore locale della tensione di Shields θ riferito al diametro d può porsi in generale nella forma:

$$\theta = \frac{u_*^2}{(s-1)gd} = \frac{(h - z_f)}{(s-1)d} j \tag{9}$$

avendo indicato con u_* la velocità d'attrito e ipotizzando che lo stato della corrente possa schematizzarsi come successione lentamente variabile nello spazio e nel tempo di stati quasi uniformi.

4 Analisi dell'evoluzione morfodinamica

In questo studio sono state svolte diverse simulazioni numeriche sollecitando il tratto in esame con i valori di portata liquida corrispondenti alle letture idrometriche registrate in corrispondenza della stazione idrometrica di ARPA Piemonte e identificando le corrispondenti portate solide in ingresso che si ipotizza coincidere con le relative capacità di trasporto della corrente.

Le simulazioni svolte avevano un duplice obiettivo: ricostruire l'evoluzione altimetrica del fondo alveo nel recente passato al fine di verificare il comportamento del modello alla luce dei rilievi disponibili e individuare la tendenza evolutiva dell'alveo a partire dallo stato attuale, ipotizzando che lo scenario idrologico registrato in questi ultimi anni si ripeta identicamente.

Nella ricostruzione sono stati presi in esame gli effetti morfodinamici associati ai consistenti prelievi di sedimenti avvenuti negli anni 2010-2015 e la progressiva riduzione della superficie del lago Savio dovuta all'avanzamento del fronte di sedimenti. È stato inoltre simulato l'effetto di un eventuale abbassamento della diga di Vobbietta.

4.1 Evoluzione fondo 2004-2011

La prima serie di simulazioni si propone di riprodurre l'evoluzione altimetrica dell'alveo intercorsa nel periodo 2004-2011, partendo dall'assetto rilevato nel 2004, sollecitando il modello con le portate liquide orarie rilevate alla stazione ARPA e con le corrispondenti portate solide stimate attraverso le (2) e confrontando il risultato finale della simulazione con l'assetto del fondo rilevato nel 2011. Si noti che, per convenzione, nel seguito si farà sempre riferimento al primo di gennaio dell'anno citato.

Nella figura 9 si può osservare il progressivo avanzamento del fronte di sedimenti, mediamente pari a circa 40 m/anno, a cui corrisponde un pari arretramento della linea di riva del lago Savio. Nel complesso il confronto con il rilievo 2011 appare più che soddisfacente, in particolare per quanto riguarda il fondo medio, il cui assetto longitudinale risulta molto più regolare di quello del thalweg, più sensibile alla geometria della sezione.

La principale differenza rispetto del profilo simulato rispetto a quello rilevato al 2011 consiste nel differente assetto del fondo nella zona del lago. Il fronte simulato risulta infatti molto più ripido del fondo rilevato, anche se il complessivo volume depositato risulta approssimativamente conservato. La forte pendenza del fronte simulato è dovuta al fatto che, al momento dell'ingresso nel lago, la corrente subisce un brusco allargamento che conduce ad una riduzione della velocità media e all'annullarsi della capacità di trasporto, con il risultato di depositare localmente tutti i sedimenti trasportati. Nelle

simulazioni viene infatti completamente trascurata, perché poco influente in condizioni di normale trasporto, l'inerzia dei sedimenti stessi. Anche l'assunzione di una granulometria uniforme ha un'influenza sull'assetto del fronte perché, a parità di profondità e velocità della corrente e, quindi, di tensione al fondo, il parametro di Shields aumenta al diminuire del diametro dei sedimenti. Il materiale più fine è quindi in grado di essere trasportato anche per quei valori di profondità per cui il sedimento di diametro mediano utilizzato nelle simulazioni risulta immobile. Come conseguenza, in prossimità del fronte si realizza un processo di selezione granulometrica secondo cui le frazioni fini possono avvicinarsi alla diga più di quelle grossolane, conducendo, in ultima analisi, ad un fronte meno ripido.

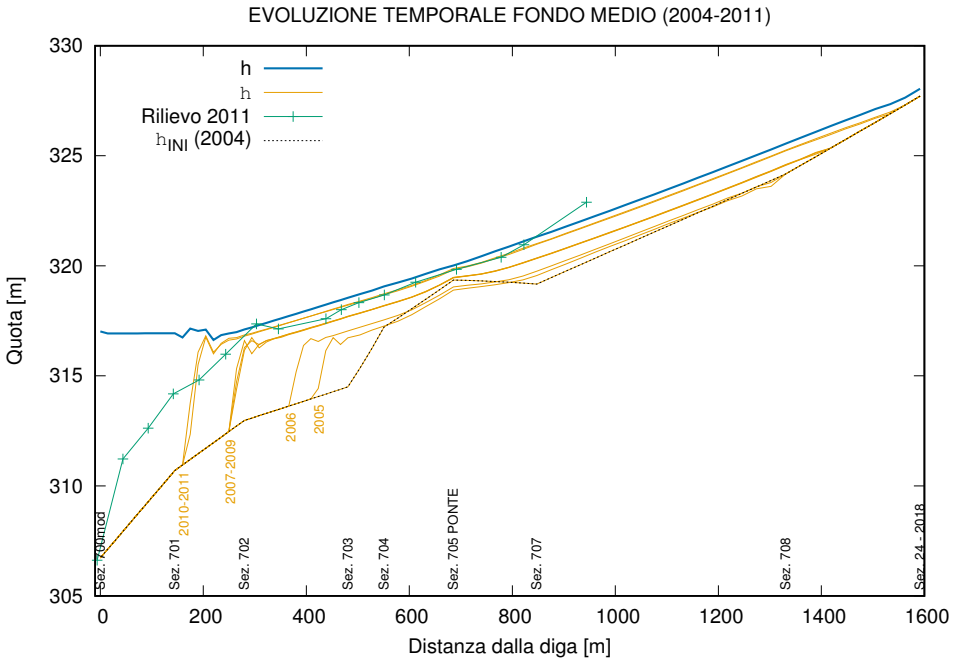


Figura 9: Evoluzione temporale del fondo medio (2004-2011).

4.2 Evoluzione fondo 2011-2018

Nel periodo compreso tra il 2011 e il 2015 sono stati effettuati diversi interventi di sistemazione nel tratto considerato, che hanno comportato l'asportazione di materiali dall'alveo, per un totale di circa 21000 m^3 e la riprofilatura delle sezioni. In mancanza di rilievi topografici di dettaglio, la ricostruzione dell'evoluzione morfodinamica nel periodo 2011-2018 deve considerarsi puramente qualitativa ed è stata realizzata partendo dal rilievo 2011 e ipotizzando di concentrare gli interventi di asportazione di sedimenti in due distinti momenti, il primo, di circa 11000 m^3, nel 2011 e il secondo, di circa 10000 m^3, nel 2015. Entrambi i prelievi sono stati realizzati nel tratto compreso tra le sezioni 702 e 707, secondo la numerazione del Piano di Bacino.

Nelle figure 10 (2011-15) e 11 (2015-18) sono riportati i profili altimetrici del fondo medio iniziale prima e dopo l'asportazione di sedimenti, i profili ottenuti come risultato delle simulazioni nei diversi anni e i profili risultanti da rilievi topografici effettuati nel periodo considerato. Anche in questo caso le simulazioni sono state realizzate sollecitando il modello con le portate liquide orarie rilevate alla stazione ARPA e con le corrispondenti portate solide stimate attraverso le (2).

E' interessante notare come lo scavo causato dall'asportazione di sedimenti venga riempito nel giro di un anno o due, mentre il fronte si mantiene stabile. Una volta che il fondo ha ritrovato una pendenza praticamente costante, annullando l'effetto della rimozione di sedimenti, il processo di interrimento riprende, il fronte procede verso la diga riducendo progressivamente l'estensione del lago e, parallelamente, il fondo in tutto il tratto ricomincia ad innalzarsi. Va sottolineato come il fronte dei sedimenti sia sostanzialmente immobile nei periodi 2011-2014 e 2015-2017, in cui l'apporto di sedimenti, relativamente modesto, viene completamente utilizzato per depositare nell'area dove sono stati simulati i prelievi. E' solo in corrispondenza degli eventi intensi del 2014 che vengono movimentati volumi di sedimenti sufficienti a fare nuovamente avanzare il fronte e arretrare la linea di riva del lago Savio.

Il buon accordo tra il profilo del fondo medio simulato e quello rilevato al 2018 mostra come non sia necessario, né particolarmente istruttivo, simulare con maggiore dettaglio l'estensione e la tempistica dei prelievi di materiale in alveo. Al contrario, appare sufficiente conservare il complessivo volume di materiale asportato, a patto ovviamente che quest'ultimo sia una frazione del materiale depositato nel periodo di interesse.

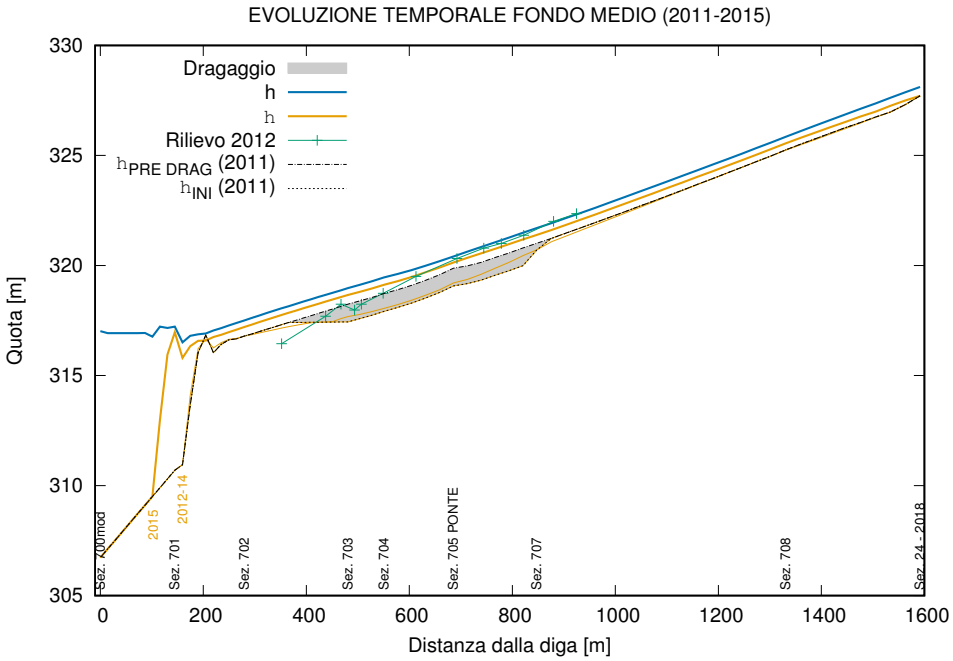


Figura 10: Evoluzione temporale del fondo medio (2011-2015).

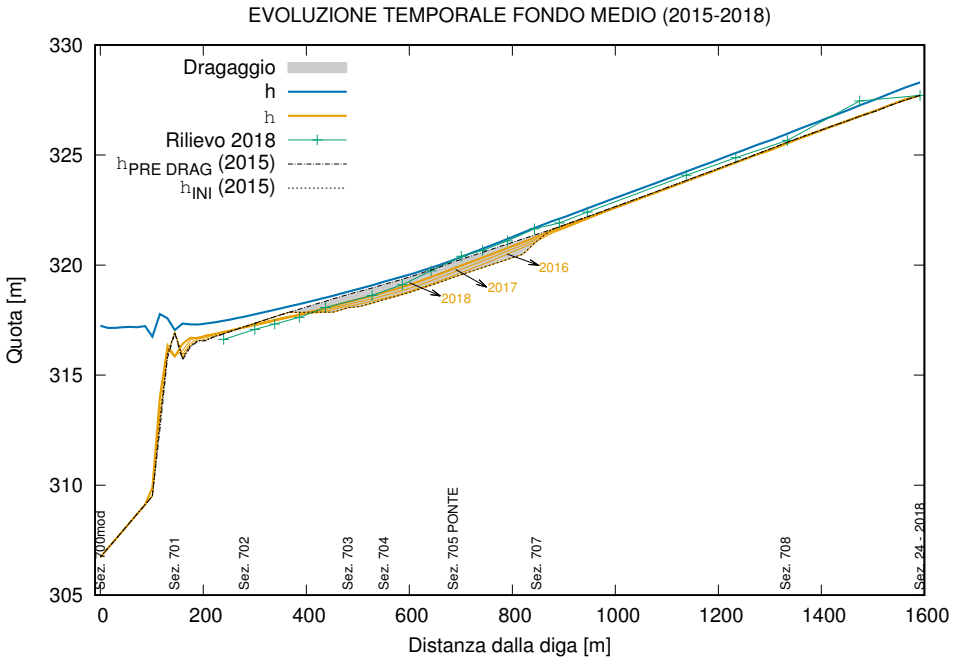


Figura 11: Evoluzione temporale del fondo medio (2015-2018).

4.3 Evoluzione morfodinamica di lungo termine

Sono state effettuate una serie di simulazioni finalizzate a determinare la configurazione di equilibrio di lungo termine del torrente Vobbia nel tratto a monte della diga di Vobbietta. L'obiettivo principale era quello di determinare l'assetto di equilibrio del fondo associato a diverse ipotesi di abbassamento della quota delle paratoie della diga. A questo proposito si è ipotizzato che lo scenario idrologico misurato nel quinquennio 2013-2018 si ripetesse identicamente più volte negli anni successivi. A partire dal fondo rilevato nel 2018, il modello è stato dunque sollecitato con una serie di idrogrammi e sedimentogrammi in ingresso identici a quelli osservati nel periodo 2013-2018 cambiando soltanto tra le varie simulazioni la quota della sommità della diga (condizione al contorno di valle).

Pur non essendo particolarmente significativa dal punto di vista statistico, questa scelta conduce ad uno scenario che ben descrive il regime idrologico e sedimentologico del corso d'acqua, comprendendo tre anni (2013, 2015 e 2016) in cui l'apporto di sedimenti è compreso tra i 1000 e i 2000 m^3, un anno (2017) in cui si superano i 6500 m^3 e il 2014, anno in cui i diversi eventi di piena conducono al massimo apporto di sedimenti (ca 37000 m^3) nel periodo considerato.

Nella Figura 12 sono presentati i risultati delle simulazioni così realizzate, che mostrano come, nella configurazione attuale (linea gialla), il processo deposizionale attualmente in atto presso il ponte di Vobbietta continuerebbe inesorabilmente fino a raggiungere in un arco temporale di circa 30 anni una configurazione di equilibrio di lungo termine caratterizzata da una quota media del fondo di circa 323 m s.l.m.. L'abbassamento della quota della paratoia della diga di 2 m rispetto allo stato attuale ridurrebbe l'innalzamento del profilo rispetto alla configurazione attuale dando luogo ad una quota del fondo di 321.5 m s.l.m., superiore dunque ai 320.2 m attuali. Per entità di abbassamento della quota della paratoia della diga pari o superiore a 4 m si innescherebbe un processo erosivo presso il ponte di Vobbietta, di intensità crescente all'aumentare dell'abbassamento della diga. In particolare nell'ipotesi di un abbassamento di 4 m, si otterrebbe una quota del fondo di equilibrio di 319.5 m s.l.m. mentre per un abbassamento di 5 m, si otterrebbe una quota del fondo di equilibrio di 318.4 m s.l.m.. Si noti che nella Figura 12 è anche riportato il confronto tra i risultati della simulazione numerica effettuata per ricostruire l'evoluzione temporale del fondo nel periodo 2004-2018 e la quota osservata presso il ponte di Vobbietta. Il risultato della simulazione risulta in buon accordo qualitativo con le osservazioni, riproducendo correttamente il progressivo innalzamento del fondo e bene approssimando il livello del fondo al 2018. Si noti il cambio della quota locale del fondo (e

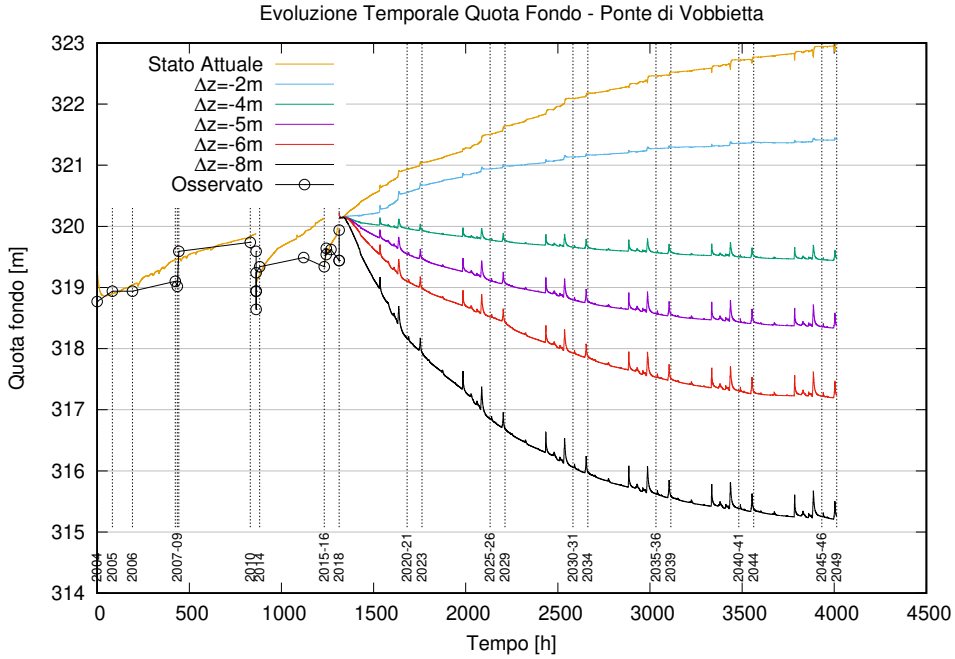


Figura 12: Evoluzione temporale del fondo medio in corrispondenza del ponte di Vobbietta per diversi scenari di abbassamento della sommità della diga.

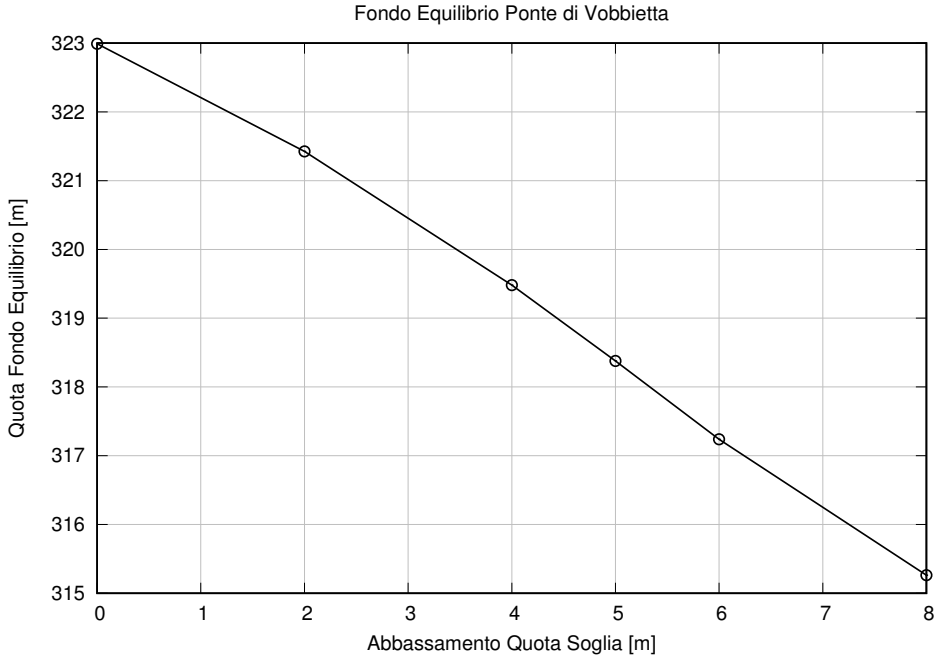


Figura 13: Quota media del fondo presso il ponte di Vobbietta nella configurazione di equilibrio per diversi scenari di abbassamento della sommità della diga.

non del fondo medio) avvenuto nel 2008 per effetto dello spostamento della sonda e le brusche diminuzioni di quota (locale e media) concentrate nel 2010 e nel 2015, che simulano le asportazioni di sedimenti effettuate nel periodo corrispondente. I maggiori scostamenti si osservano nel periodo 2012-2015 e sono probabilmente legati al fatto di aver concentrato le asportazioni di sedimenti in due soli prelievi: suddividendo i prelievi in modo più omogeneo nel periodo, la curva simulata sarebbe stata probabilmente più aderente al dato osservato. È da sottolineare comunque il buon accordo tra dato simulato ed osservato al 2018.

Le quote del fondo medio previste in corrispondenza del ponte di Vobbietta nella configurazione di equilibrio per diversi scenari di abbassamento della sommità della diga sono riportati in Figura 13. Si noti la correlazione pressoché lineare tra abbassamento della diga e quota del fondo di equilibrio. Tali risultato consente dunque di progettare l'abbassamento della diga per la quota del fondo desiderata. I corrispondenti profili di equilibrio di lungo termine si realizzeranno pienamente solo dopo il completo interrimento della diga, secondo una dinamica del tutto simile a quella già realizzatasi sul torrente Vobbia in corrispondenza della diga del Castello. I profili corrispondenti ad uno scenario di abbassamento della sommità della diga pari a 2 m sono riportati in Figura 14 mentre in Figura 15 sono riportati i profili di equilibrio corrispondenti a diversi scenari di abbassamento della sommità della diga.

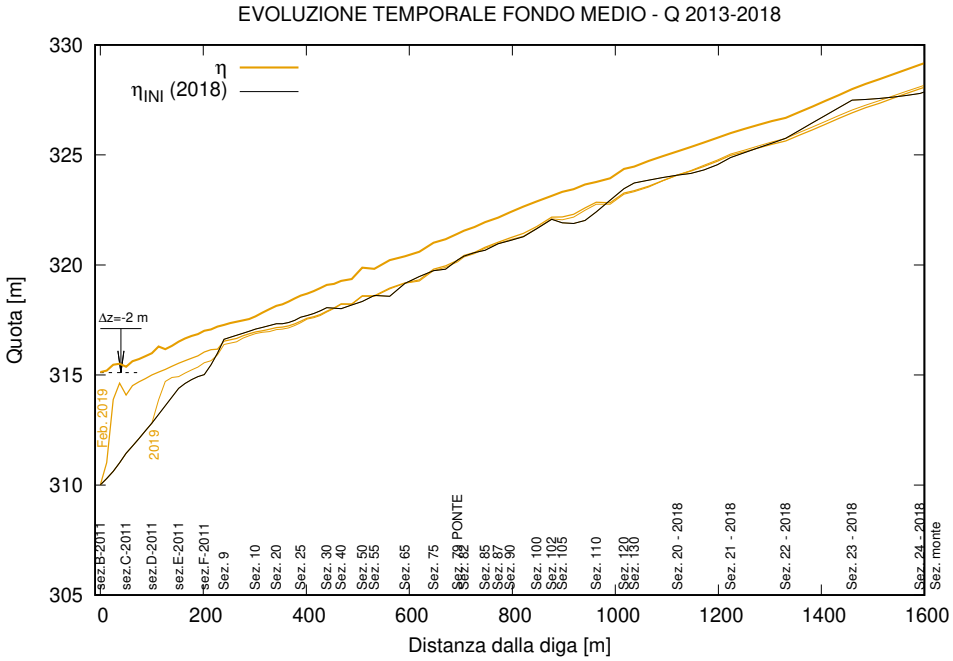


Figura 14: Evoluzione temporale del fondo medio fino alla configurazione di equilibrio per uno scenario di abbassamento della sommità della diga di 2 m.

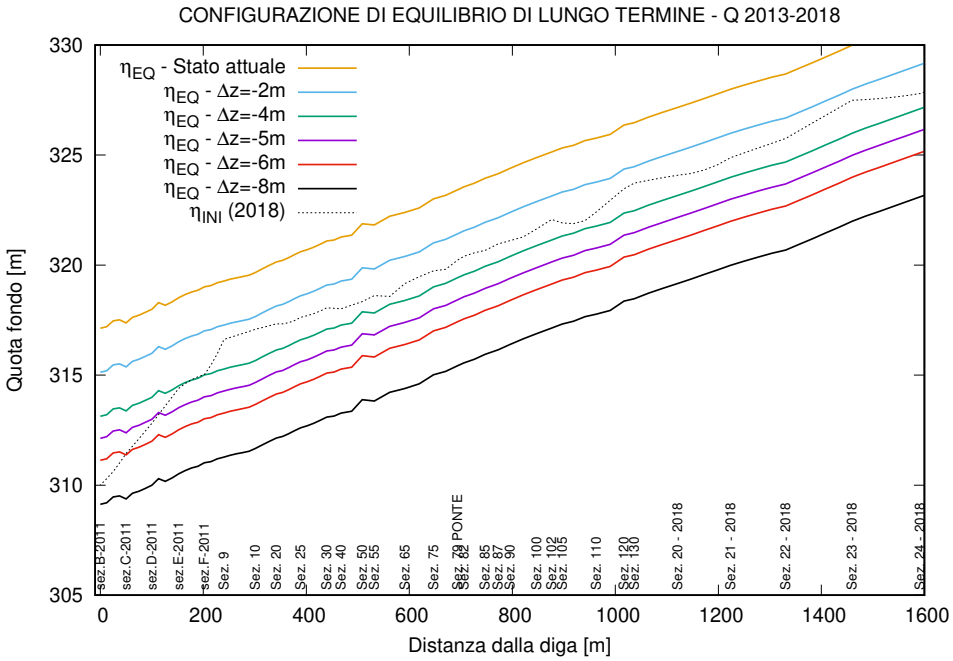


Figura 15: Profilo di equilibrio del fondo medio per diversi scenari di abbassamento della sommità della diga.

5 Conclusioni

Le simulazioni numeriche effettuate nell'ambito del precedente studio DICCA avevano fornito una buona descrizione sia qualitativa sia quantitativa del processo di interramento del torrente Vobbia a monte della diga di Vobbietta, che implica un progressivo innalzamento del fondo in corrispondenza dell'abitato di Vobbietta. L'assetto del fondo alveo al 2018 era stato riprodotto con buona precisione a partire dal fondo rilevato nel 2004, sollecitando il modello con la portata liquida misurata alla stazione idrometrica ARPA e stimando la portata solide in ingresso attraverso la capacità di trasporto della corrente. Nel bilancio complessivo erano anche stati considerati i prelievi effettuati nel periodo 2010-2015, mentre non era stato considerato l'apporto di sedimenti nei periodi in cui la stazione idrometrica era in stato di fermo e, in particolare, l'intero anno 2011.

I risultati delle simulazioni erano in buon accordo con le osservazioni di campo, i rilievi topografici e le misure puntuali fornite dalla stazione idrometrica ARPA nel periodo 2004-2018.

Nel presente studio le simulazioni numeriche sono state estese per descrivere l'evoluzione del fondo a partire dal rilievo del 2018 fino al raggiungimento di una configurazione di equilibrio di lungo termine. Il modello numerico è stato sollecitato a monte con i dati idrologici registrati nel periodo 2013-2018, ipotizzando che tale scenario si ripetesse identicamente più volte. La condizione di valle è stata modificata nelle varie simulazioni effettuate ipotizzando diverse ipotesi di abbassamento della quota della diga e mantenendo tutte le altre condizioni inalterate. I risultati mostrano che, in tutte le simulazioni effettuate, all'equilibrio vi sarebbe il completo interrimento della diga. Allo stato attuale, se non venisse dunque apportata alcuna modifica alla diga, la quota di equilibrio del fondo previsto presso il ponte di Vobbietta ($\sim$ 323 m s.l.m.) risulterebbe significativamente superiore rispetto al fondo attuale (320.2 m s.l.m.). Un abbassamento della quota della diga di 4 m consentirebbe di assestare il profilo di equilibrio presso il ponte di Vobbietta a una quota pari a 319.5 m s.l.m., inferiore dunque di circa 0.70 m rispetto al fondo attuale. Per ottenere un fondo di equilibrio al ponte di Vobbietta di circa 318 m s.l.m., bisognerebbe operare un abbassamento della quota della diga compreso tra 5 e 6 metri.